

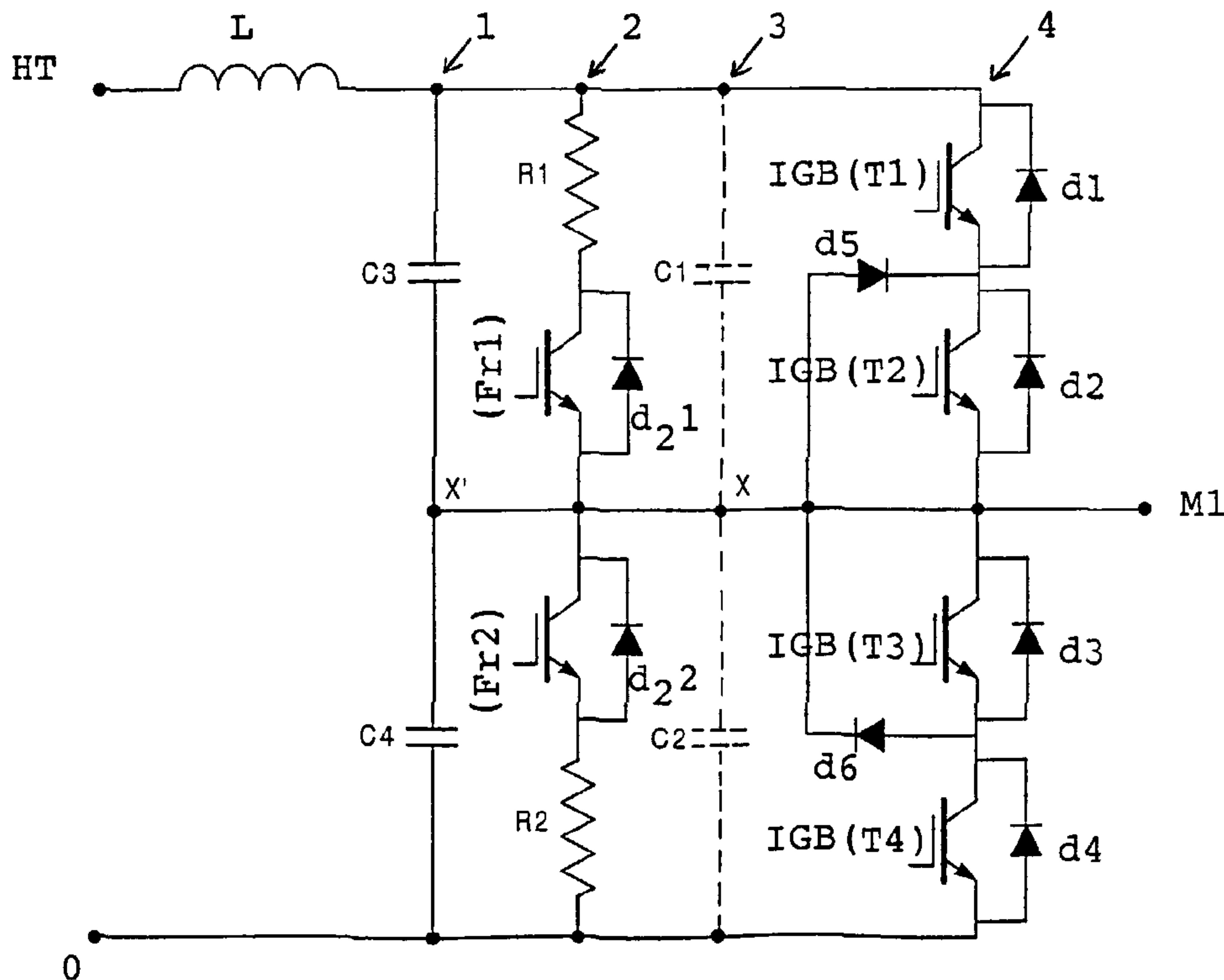


(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2001/03/13
 (87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2001/09/20
 (85) Entrée phase nationale/National Entry: 2002/09/11
 (86) N° demande PCT/PCT Application No.: BE 2001/000044
 (87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2001/069765
 (30) Priorité/Priority: 2000/03/13 (00870042.9) EP

(51) Cl.Int.⁷/Int.Cl.⁷ H02M 1/12, H02M 7/48
 (71) Demandeur/Applicant:
ALSTOM BELGIUM S.A., BE
 (72) Inventeur/Inventor:
BOU SAADA, JOHNNY, BE
 (74) Agent: GOWLING LAFLEUR HENDERSON LLP

(54) Titre : DISPOSITIF ET PROCEDE DE REDUCTION D'HARMONIQUES DANS LES CONVERTISSEURS DE PUISSANCE

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR REDUCING HARMONICS IN POWER CONVERTERS



(57) Abrégé/Abstract:

La présente invention se rapporte à un dispositif électronique de commutation de puissance à plusieurs étages permettant de réduire les amplitudes des harmoniques indésirables générés dans ledit dispositif, en particulier sous forme de battement, comprenant au moins un filtre d'entrée (1), un hacheur de freinage rhéostatique (2) comprenant au moins deux commutateurs (Fr1, Fr2) et un onduleur multiniveaux (4) comprenant au moins quatre commutateurs en série (T1, T2, T3, T4), caractérisé en ce que l'onduleur (4) est directement accolé au hacheur (2) en prévoyant une liaison par leur point milieu (X = X') et en ce qu'il comprend un générateur d'impulsions de fréquence aléatoire variable commandant les commutateurs dudit hacheur (2).

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international(43) Date de la publication internationale
20 septembre 2001 (20.09.2001)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 01/69765 A1(51) Classification internationale des brevets⁷ : H02M 1/12,
7/48

(72) Inventeur; et

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/BE01/00044

(75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : BOU
SAADA, Johnny [BE/BE]; Avenue des Sept Bonniers,
247, B-1190 Bruxelles (BE).

(22) Date de dépôt international : 13 mars 2001 (13.03.2001)

(74) Mandataires : VAN MALDEREN, Joëlle etc.; Office
Van Malderen, Place Reine Fabiola, 6/1, B-1083 Bruxelles
(BE).

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

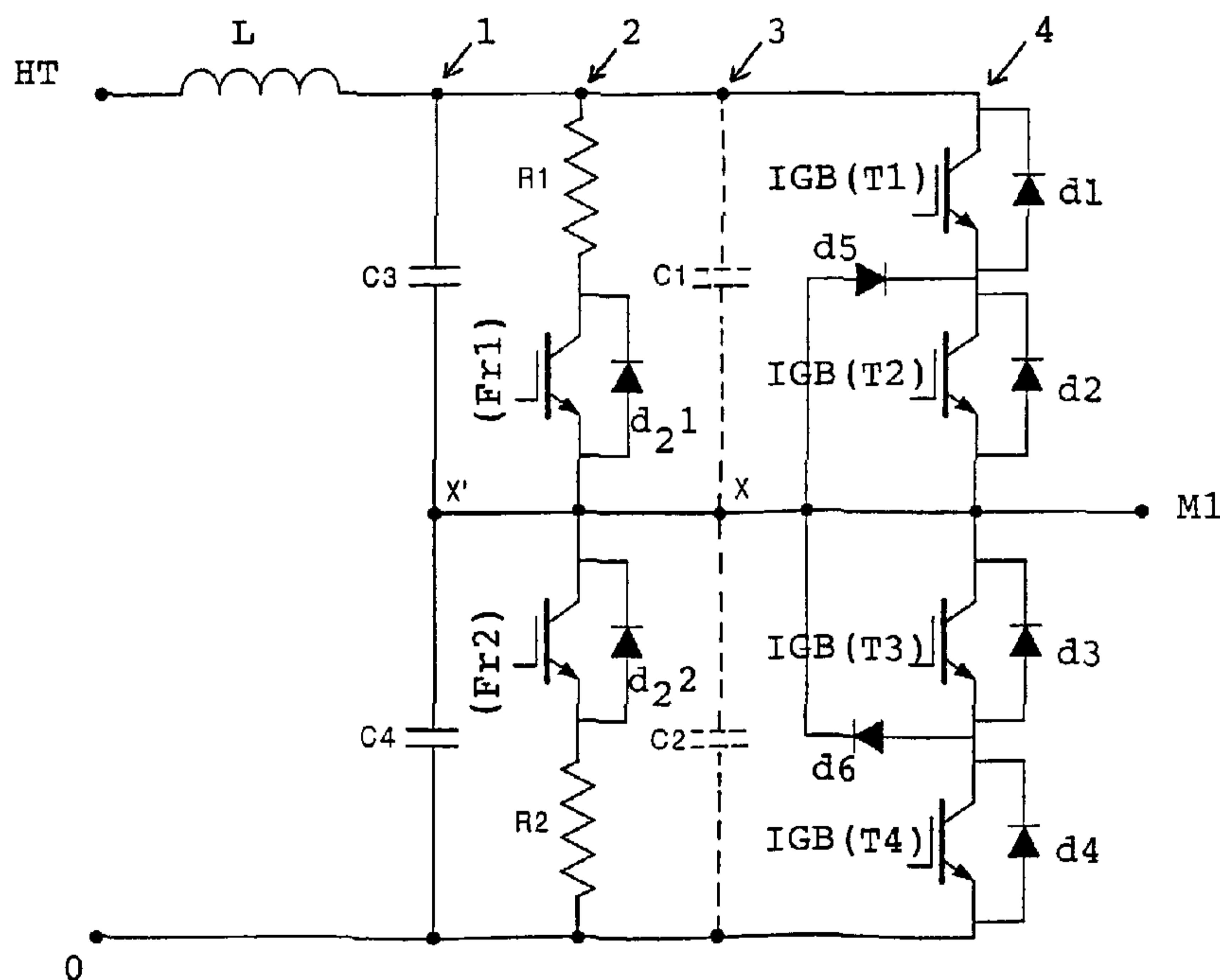
(30) Données relatives à la priorité :

00870042.9 13 mars 2000 (13.03.2000) EP

(81) États désignés (national) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ,
BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE,
DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU,
ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS,
LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO,
NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR,
TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : AL-
STOM BELGIUM S.A. [BE/BE]; Rue Cambier Dupret,
50/52, B-6001 Charleroi (BE).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR REDUCING HARMONICS IN POWER CONVERTERS

(54) Titre : DISPOSITIF ET PROCÉDE DE REDUCTION D'HARMONIQUES DANS LES CONVERTISSEURS DE PUIS-
SANCE

(57) Abstract: The invention concerns multistage power switching electronic device for reducing undesirable harmonics amplitudes generated in said device, in particular in the form of beats, comprising at least an input filter (1), a rheostatic braking chopper (2) including at least two switches (Fr1, Fr2) and multilevel static converter (4) including at least four switches in series (T1, T2, T3, T4). The invention is characterised in that the oscillator (4) is directly attached to the chopper (2) providing a connection by their midpoint (X = X') and it comprises a variable random frequency pulse generator controlling the switches of said chopper (2).

[Suite sur la page suivante]



WO 01/69765 A1



(84) États désignés (régional) : brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale

— avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

(57) Abrégé : La présente invention se rapporte à un dispositif électronique de commutation de puissance à plusieurs étages permettant de réduire les amplitudes des harmoniques indésirables générés dans ledit dispositif, en particulier sous forme de battement, comprenant au moins un filtre d'entrée (1), un hacheur de freinage rhéostatique (2) comprenant au moins deux commutateurs (Fr1, Fr2) et un onduleur multiniveaux (4) comprenant au moins quatre commutateurs en série (T1, T2, T3, T4), caractérisé en ce que l'onduleur (4) est directement accolé au hacheur (2) en prévoyant une liaison par leur point milieu ($X = X'$) et en ce qu'il comprend un générateur d'impulsions de fréquence aléatoire variable commandant les commutateurs dudit hacheur (2).

5

DISPOSITIF ET PROCEDE DE REDUCTION D'HARMONIQUES DANS LES
CONVERTISSEURS DE PUISSANCE

10

Objet de l'invention

[0001] La présente invention se rapporte à un dispositif et un procédé de réduction d'harmoniques gênants générés dans un convertisseur de puissance.

15

Etat de la technique

[0002] L'électronique de puissance travaille généralement en commutations, ce qui provoque la création d'harmoniques. De plus, un système de puissance est
20 constitué de sous-systèmes travaillant chacun à une fréquence propre. La combinaison de ces différentes fréquences est la source d'harmoniques par phénomène de battement.

[0003] Un battement est la variation périodique de
25 l'amplitude d'une oscillation résultant de la superposition de deux fréquences voisines.

[0004] Généralement, on essaie de découpler ces sous-systèmes par l'utilisation de filtres comportant des selfs (L) et des capacités (C).

30 [0005] Dans le cas des onduleurs triphasés pour moteurs à propulsion dans les applications ferroviaires, par exemple, il a été par ailleurs proposé un traitement des ondes PWM par correction de consigne dans un discriminateur (publication W096/33548). Ce procédé permet

d'annuler les temps morts au niveau des consignes de commutation et donc de réduire significativement les harmoniques indésirables, en particulier, les harmoniques d'ordre 5 et 7 apparaissant dans les courants moteur et
5 l'harmonique d'ordre 6 apparaissant côté alimentation et côté couple moteur.

[0006] Toutefois la modification de configuration du système est souvent limitée par les pertes des semi-conducteurs ou encore par la physique du système.

10 [0007] Un grand nombre de documents, et parmi eux les documents US-A-4638417, DE-A-19651281, DE-A-3912706, GB-A-2232835 et US-A-4339697, ont proposé d'appliquer une consigne variable, et dans certains cas de fréquence aléatoire, aux ondes PWM destinées à commander l'onduleur,
15 et ceci essentiellement dans le but de réduire le bruit.

Buts de l'invention

[0008] La présente invention vise à proposer un dispositif simple qui permette de réduire, voire d'annuler,
20 les harmoniques provenant de la composition des différentes fréquences de commutation dans les convertisseurs de puissance à plusieurs étages.

[0009] La présente invention vise en particulier à proposer un dispositif et un procédé qui puissent être
25 appliqués à un système comportant au moins deux des sous-systèmes fonctionnels suivants : hacheur de freinage rhéostatique, onduleur/ redresseur.

Principaux éléments caractéristiques de l'invention

30 [0010] La présente invention se rapporte à un dispositif et un procédé de réduction des amplitudes des harmoniques indésirables dans les convertisseurs de puissance à plusieurs étages de commutation, dans lequel le(s) commutateur(s) d'au moins un desdits étages est(sont)

commandé(s) par des impulsions de fréquence aléatoire variable.

[0011] Selon l'invention, on entend par "convertisseur de puissance" un dispositif de commutation
5 de puissance constitué par plusieurs sous-systèmes fonctionnels comprenant un filtre d'entrée, un hacheur de freinage rhéostatique, un onduleur ou redresseur multiniveaux.

[0012] De manière classique, le hacheur est
10 constitué par au moins deux commutateurs de préférence de type IGBT et disposés en série, chacun étant disposé en parallèle avec une diode disposée en sens inverse, l'ensemble commutateur / diode en sens inverse étant en série avec une résistance.

15 [0013] Classiquement, une branche d'un onduleur multiniveaux, par exemple d'un onduleur trois niveaux, est constituée d'au moins quatre commutateurs, de préférence de type IGBT, couplés deux à deux. Chaque commutateur est en parallèle avec une diode disposée en sens inverse.

20 [0014] Selon l'invention, ce seront les commutateurs du hacheur qui seront commandés par des impulsions de fréquence aléatoire variable.

[0015] Ainsi, le dispositif selon la présente invention comprend un générateur d'ondes constituées
25 d'impulsions de fréquence aléatoire variable destinées à commander les commutateurs du hacheur.

[0016] De préférence, la fréquence obéit à une distribution de Gauss dont l'écart-type est compris entre 15 et 35% de la moyenne.

30 [0017] Avantageusement, la moyenne correspond à la fréquence fixe utilisées habituellement pour commander les commutateurs considérés.

[0018] Selon un exemple particulier, la fréquence moyenne de commande du hacheur est comprise entre 600 et 900 Hz et l'écart-type est compris entre 150 et 250 Hz.

[0019] Selon une caractéristique importante de la présente invention, l'onduleur multiniveaux est directement accolé au hacheur, c'est-à-dire que le hacheur sera relié à l'onduleur par son point milieu.

[0020] Ceci signifie que l'on peut éviter ainsi la présence d'un diviseur capacitif intermédiaire séparé pour le hacheur.

Brève description des dessins

[0021] La figure 1 représente le schéma de principe d'un convertisseur à deux étages selon l'état de la technique.

[0022] La figure 2 représente le schéma de principe d'un convertisseur utilisant le dispositif et le procédé de réduction d'harmoniques selon la présente invention.

[0023] La figure 3 représente une forme d'onde appliquée à la commande d'un onduleur, avec trois angles de commutation α_1 , α_2 , α_3 .

[0024] La figure 4 représente le signal de commande, avec son signal de consigne, appliqué au hacheur de freinage rhéostatique selon l'invention.

25

Description de l'état de la technique

[0025] La figure 1 représente un convertisseur à deux étages selon l'état de la technique. Il est constitué de manière classique de plusieurs sous-ensembles : filtre d'entrée 1, hacheur de freinage 2 et onduleur 4. Une seule branche d'un onduleur à trois niveaux a été représentée dans le présent cas.

30

[0026] De manière classique, le filtre d'entrée est constitué d'une self L et d'une ou plusieurs capacités C3 et C4.

[0027] Le hacheur de freinage 2 est constitué de
5 deux commutateurs Fr1 et Fr2, de préférence de type IGBT et disposés en série, chacun de ces commutateurs étant en parallèle avec une diode disposée en sens inverse Dr1 et Dr2, l'ensemble commutateur / diode inverse étant en série avec une résistance R1 et R2 qui permet de dissiper
10 l'énergie qui n'est pas consommée par la charge M1.

[0028] En outre, pour assurer la tenue en tension, un diviseur capacitif pour le hacheur constitué des deux capacités C3 et C4 est prévu.

[0029] Une branche d'un onduleur à trois niveaux est
15 représentée de manière classique à la figure 1. Elle est constituée de quatre commutateurs, de préférence de type IGBT, couplés deux à deux (T1 et T2, T3 et T4). Sur chaque commutateur est disposée en parallèle une diode inverse D1 à D4. Un diviseur capacitif 3 constitué des deux capacités
20 C1 et C2 est également disposé en parallèle sur l'onduleur 4.

[0030] Ainsi qu'on observera à la figure 1, habituellement, les points milieux du hacheur X' et X ne sont selon l'état de la technique pas reliés.

25

Description d'une forme d'exécution préférée de l'invention

[0031] Selon la présente invention, ainsi que représenté à la figure 2, on propose de relier les points milieux respectivement du hacheur et de l'onduleur (X et
30 X'), disposés de ce fait entre les deux capacités. Ceci permet de manière particulièrement avantageuse de ne plus devoir prévoir un pont diviseur capacitif propre à chacun des sous-systèmes hacheur 2 / onduleur 4.

[0032] Le mode de fonctionnement de l'onduleur trois niveaux 4 est totalement classique et permet de répartir la tension continue HT de la caténaire sur deux commutateurs IGBT en les faisant conduire par paires, d'abord les deux supérieurs (IGBT1, IGBT2), ensuite les deux intermédiaires (IGBT2, IGBT3) et enfin les deux inférieurs (IGBT3, IGBT4).

[0033] On procède ainsi à l'approximation d'une sinusoïde par trois niveaux de tension : HT, HT/2 et 0.

[0034] Un deuxième diviseur capacitif n'est donc plus nécessaire pour la fixation du potentiel intermédiaire et donc pour le bon fonctionnement de l'onduleur, car la liaison entre les points milieux X, X' permet une bonne répartition de la haute tension.

[0035] Par rapport à un onduleur à deux niveaux, le système à trois niveaux permet déjà de réduire le taux d'harmoniques, de par une meilleure approximation de la sinusoïde.

[0036] Comme la tension fournie par l'onduleur à la charge est symétrique par rapport à l'axe Oy, le développement en série de Fourier ne comporte que la fondamentale et des harmoniques impairs (ordre 3, 5, 7, 9, etc.) :

$$HT(t) = a_1 \sin(\omega t + \phi_1) + a_3 \sin(3\omega t + \phi_3) + a_5 \sin(5\omega t + \phi_5) + \dots$$

où t est le temps, ω la fréquence angulaire fondamentale et ϕ_{2i-1} la phase correspondant à la fréquence $(2i-1)\omega$, $i = 1, 2, 3, \dots$

[0037] On peut montrer qu'il est possible d'obtenir un système de n équations linéaires à n inconnues où les coefficients a_3, a_5, a_7, \dots sont exprimés en fonction des angles de commutation $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots$. A la figure 2, on a représenté une forme d'onde correspondant à trois angles de commutation $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$.

[0038] En inversant le système d'équations, on peut alors exprimer les angles de commutation $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots$ en fonction des coefficients du développement en série de Fourier a_3, a_5, a_7, \dots

5 [0039] Il est donc possible de calculer les angles de commutation requis pour annuler certains harmoniques, choisis au départ. En d'autres termes, le choix judicieux de la forme d'onde appliquée au sous-système onduleur permet d'éliminer, côté moteur, certains harmoniques, et en
10 particulier les plus indésirables tels que les harmoniques d'ordre 5 et 7. Les harmoniques d'ordre 3 et multiples de 3 ne sont pas gênants côté moteur car on a affaire ici à un système triphasé à neutre isolé.

[0040] Habituellement, on essaie de ne pas
15 incorporer le pont capacitif 3 (C_1, C_2) et, dans la mesure du possible, d'avoir le hacheur de freinage directement connecté à l'onduleur ($X = X'$). Dans ce cas de figure, le battement est inévitable et ne sera supprimé que si on prévoit une commande du hacheur comme décrit ci-dessous.

20 [0041] En fonctionnement normal, l'onduleur génère donc au point milieu X, X' des harmoniques dont les fréquences sont des multiples de 3 de la fréquence de travail. Par exemple, si l'onduleur fonctionne à 50 Hz, on retrouve au point milieu les fréquences 150, 300, 450 Hz,
25 etc.

[0042] Dans l'exemple repris à la figure 2, le hacheur de freinage, accolé directement à l'onduleur, fonctionne à sa propre fréquence (par exemple 800 Hz). Cette fréquence est susceptible de se combiner avec tous
30 les harmoniques présents au point milieu pour former un battement. Ce battement est bien sûr d'autant plus intense que les fréquences sont proches.

[0043] En effet, si f_1 est la fréquence harmonique de l'onduleur et f_2 la fréquence du hacheur, on obtient deux battements de fréquence $(f_1+f_2)/2$ et $(f_1-f_2)/2$.

[0044] Pour contrer ce phénomène, il suffit de
5 prévoir d'utiliser une fréquence aléatoire pour la commande du hacheur. La distribution de cette fréquence est par exemple une distribution gaussienne de valeur moyenne égale à la fréquence habituelle de travail $f_0 = 800$ Hz et
10 présentant un écart-type de l'ordre de $\Delta f = 200$ Hz. La figure 3 donne un exemple de signal de commande 6 des IGBT de hachage (IGBT Fr1, IGBT Fr2), à fréquence aléatoire. La consigne 5 donne le niveau du taux de modulation appliqué au hacheur.

[0045] Une forme d'exécution préférée de l'invention
15 consiste à générer un signal d'entrée qui est un échantillonnage d'une fonction sinus sur un intervalle de temps fini (par exemple 1 échantillon toutes les 10 ms sur un intervalle d'une seconde) et dont la fréquence change au cours du temps en utilisant un générateur de nombre
20 aléatoire.

[0046] Par rapport à la fréquence unique, les pertes de commutation dans les composants de puissance sont les mêmes.

[0047] La solution préconisée par l'invention a
25 cependant plusieurs avantages importants :

- réduction des battements d'autant plus marquée que l'écart-type est grand ;
- diminution du bruit du système ;
- suppression possible du diviseur capacitif entre le
30 hacheur et l'onduleur.

REVENDICATIONS

1. Dispositif électronique de commutation de puissance à plusieurs étages permettant de réduire les amplitudes des harmoniques indésirables générés dans ledit
5 dispositif, en particulier sous forme de battement, comprenant au moins un filtre d'entrée (1), un hacheur de freinage rhéostatique (2) comprenant au moins deux commutateurs (Fr1,Fr2) et un onduleur multiniveaux (4) comprenant au moins quatre commutateurs en série (T1,T2,
10 T3,T4), caractérisé en ce que l'onduleur (4) est directement accolé au hacheur (2) en prévoyant une liaison par leur point milieu ($X = X'$) et en ce qu'il comprend un générateur d'impulsions de fréquence aléatoire variable commandant les commutateurs dudit hacheur (2).

15 2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que la fréquence aléatoire obéit à une distribution de Gauss de fréquence moyenne égale à la fréquence utilisée pour un dispositif équivalent à fréquence fixe.

20 3. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que la fréquence aléatoire obéit à une distribution non gaussienne.

4. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que
25 l'écart-type de la distribution est compris entre 15 et 35% de la fréquence moyenne.

5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les commutateurs de l'onduleur (4) sont commandés par des
30 impulsions d'une onde PWM correspondant à des angles de commutation ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots$) calculés de manière à réduire ou annuler l'amplitude d'au moins un harmonique impair de

la forme d'onde de tension fournie par ledit onduleur (4) à une charge (M1).

6. Procédé de réduction des amplitudes des harmoniques indésirables générés dans un dispositif de commutation de puissance à plusieurs étages comprenant au moins un filtre d'entrée (1), un hacheur de freinage rhéostatique (2) comprenant au moins deux commutateurs (Fr1,Fr2) et un onduleur multiniveaux (4) comprenant au moins quatre commutateurs (T1,T2,T3,T4), l'onduleur (4) étant directement accolé au hacheur (2) par une liaison reliant le point milieu (X) de l'onduleur (4) au point milieu (X') du hacheur (2), caractérisé en ce que les commutateurs (Fr1,Fr2) du hacheur (2) sont commandés par des impulsions de fréquence aléatoire variable.

1/2

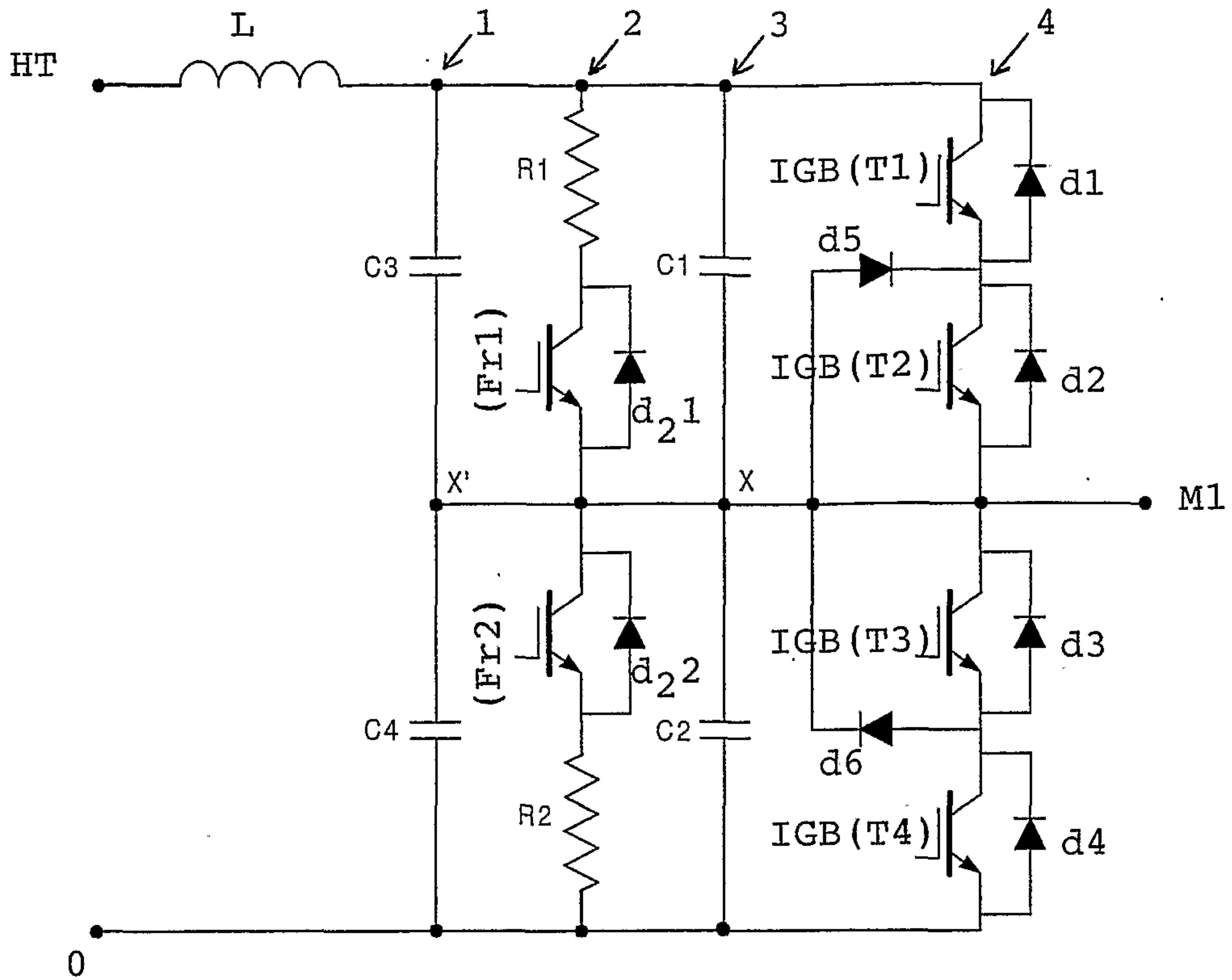


FIG. 1

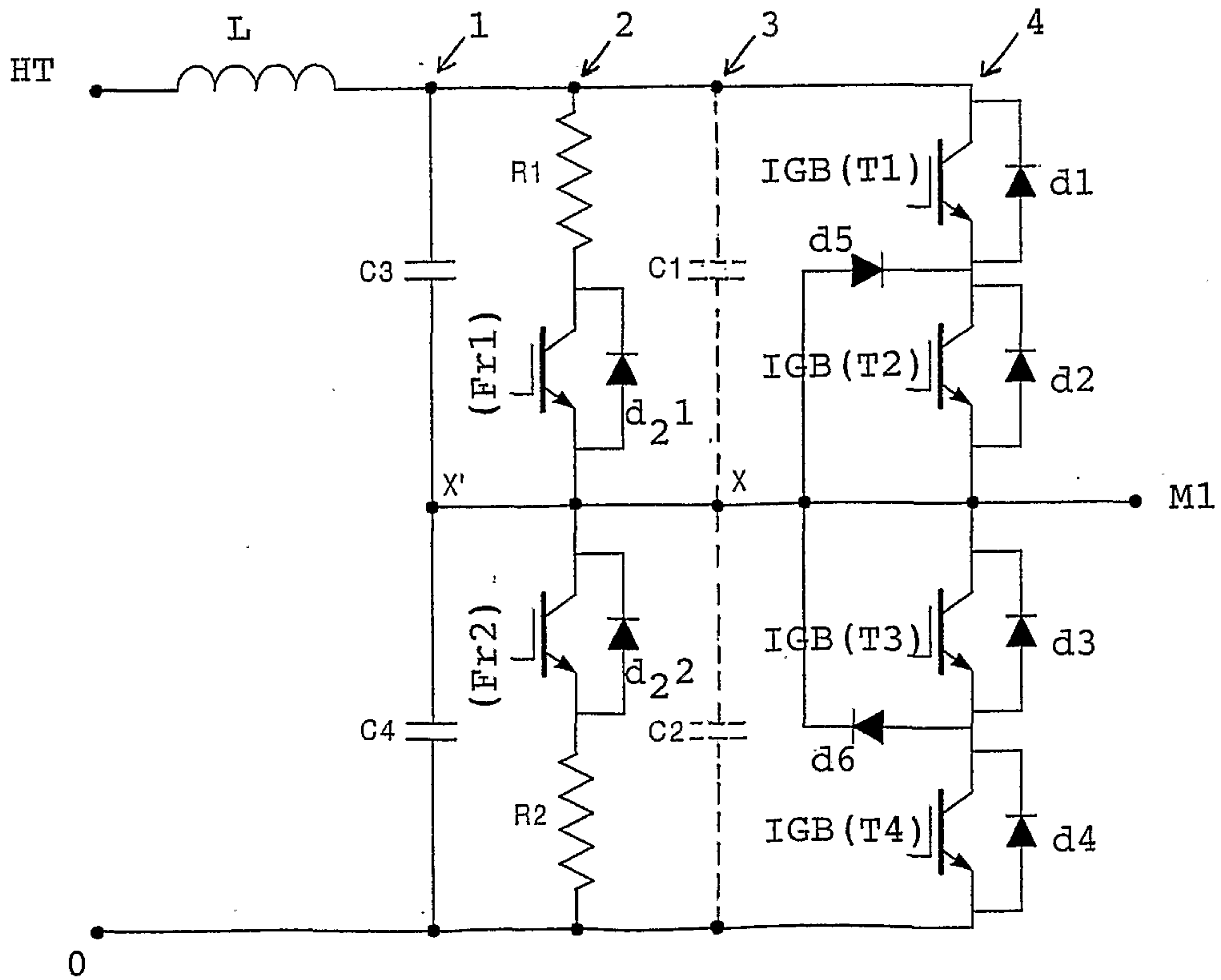


FIG. 2

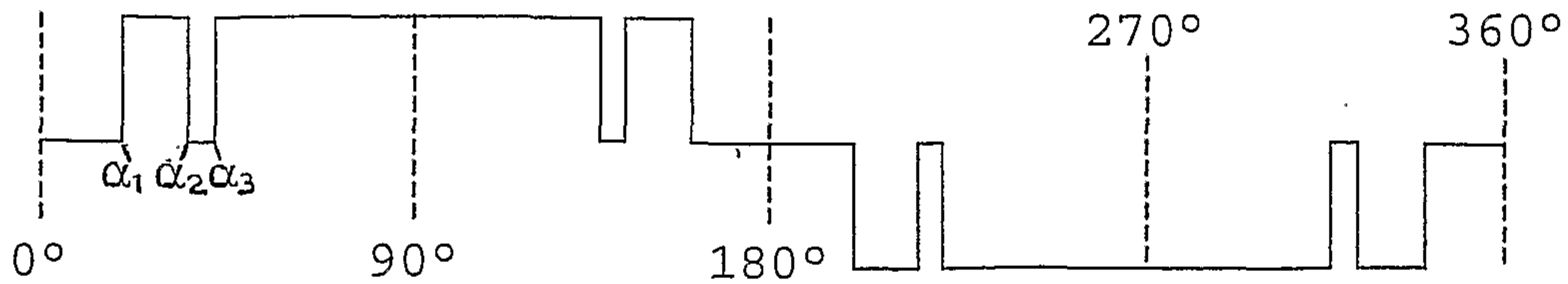


FIG. 3

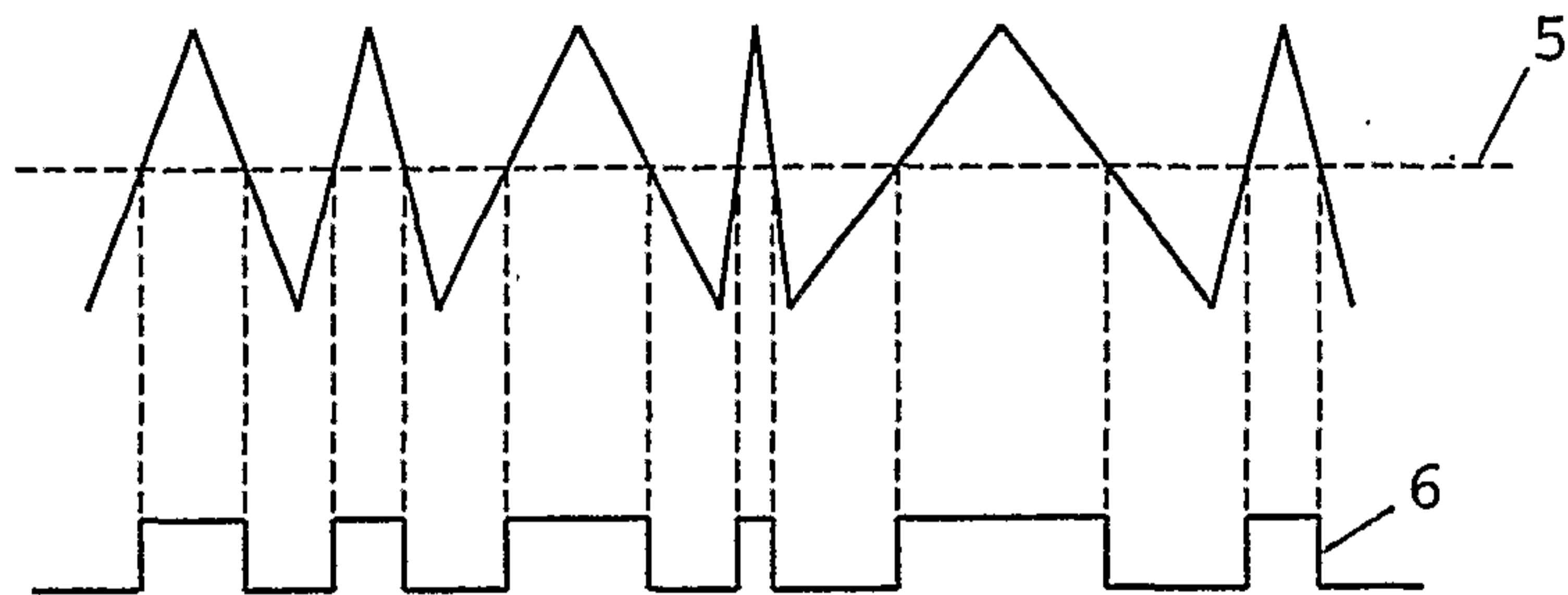


FIG. 4

